

COMPARACIÓN DE MEDIDAS DE RADIACIÓN GLOBAL DE LA RED RADIOMÉTRICA DE AEMET CON LOS VALORES DEL SIS (Surface Incoming Shortwave Radiation) DEL SAF DE CLIMA

SANCHO AVILA, JUAN MANUEL (*jsancho@inm.es*) (1), SANCHEZ DE COS, M^a CARMEN (1),
JIMENEZ, CARLOS (1)

(1) Delegación Territorial en Andalucía, Ceuta y Melilla
AEMET – Agencia Estatal de Meteorología
Centro Meteorológico de Málaga; C/Demóstenes, 4; 29010 MÁLAGA

Se ha realizado la comparación de los valores promedios mensuales de Radiación Global diaria medidos en 31 estaciones de la Red Radiométrica Nacional en banda ancha de AEMET con los valores mensuales de SIS (Surface Incoming Shortwave radiation) del Climate Monitoring-SAF para el año 2006. El SIS es el flujo de radiación solar de onda corta por unidad de área horizontal en la superficie de la Tierra en la banda 0.2-4 μ m, expresado en w/m². Es calculado a partir de los datos del instrumento SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) del satélite Meteosat Segunda Generación (MSG2) y del AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) de los satélites polares de la NOAA.

Los resultados muestran una gran similitud de los datos procedentes de ambas fuentes de información, siendo las discrepancias entre ambas fuentes de información en torno a $\pm 5\%$. El objeto de esta comparación es evaluar la conveniencia del uso de los datos de SIS para la elaboración de un atlas de radiación solar disponible en España.

Así mismo, con el fin de estimar los valores de radiación difusa y directa a partir de los valores SIS de radiación global, se han calculado, para varias estaciones radiométricas de AEMET, los coeficientes de la expresión polinomial de tercer grado propuesta por Czeplak (1996) que relaciona los promedios mensuales de radiación difusa con los promedios mensuales de radiación global.

Estos coeficientes, que son dependientes de la latitud y de la estación del año, permitirán obtener campos de promedios mensuales de radiación directa a partir de los campos del SIS.

Referencias:

- Aguiar. R. et. al. (2000): The European Solar Radiation Atlas: Vols. I and II. École des Mines de Paris.
- Czeplak. G. (1996): Modified polynomial Erbs. Coefficients for calculating monthly mean diffuse solar radiation. European Solar Radiation Atlas Project. Contract J0U2-CT93-305. DWD Report.
- Mayer, B and Kylling, A., 2005, Technical note: The libRadtran software package for radiative transfer calculations – description and examples of use. Atmos. Chem. Phys., 5, 1855-1877.
- Pinker, R.T. and Laszlo, I. (1992): Modeling Surface Solar Irradiance for Satellite Applications on a Global Scale, J. Appl. Meteorology, 31, 194-211
- R.W. Mueller, C. Matsoukas, A. Gratzki, H.-D. Behr, R. Hollmann (2009): "The CM-SAF operational scheme for the satellite based retrieval of solar surface irradiance - a LUT based eigenvector hybrid approach", Remote Sensing of Environment, Volume 113, Issue 5, pp 1012-102

1. INTRODUCCIÓN: BALANCE RADIATIVO MEDIO DEL SISTEMA TIERRA-ATMÓSFERA

La radiación global de onda corta $0.2-4.0\mu m$ es la energía solar que alcanza la superficie terrestre después de todos los procesos de absorción y scattering que se producen a lo largo del camino óptico a través de la atmósfera.

En el tope de la atmósfera, la radiación de onda corta es en promedio de 342 W/m^2 (ver Figura 1).

La absorción de radiación de onda corta debido a las moléculas, los aerosoles y las nubes supone aproximadamente un 20% (67 W/m^2) de la energía incidente y contribuye al calentamiento de la atmósfera. Los procesos de back scattering y reflexión hacia el espacio debido a las nubes suponen un 23% (77 W/m^2). Por tanto, un 57% (194 W/m^2) de la radiación llega a la superficie de la Tierra donde dependiendo de las características reflectantes de la superficie, aproximadamente el 8% (30 W/m^2) de la energía incidente es reflejada. Así pues, el albedo medio resultante del sistema Tierra-Atmósfera, sumando los procesos de back scattering, reflexión por las nubes y reflexión en la superficie terrestre, es de $23\% + 8\% = 31\%$ (107 W/m^2).

Del 57% (194 W/m^2) de la radiación de onda corta que llega a la superficie de la Tierra, en promedio, un 30 % (102 W/m^2) lo hace como radiación directa, y un 27% (92 W/m^2) como radiación difusa.

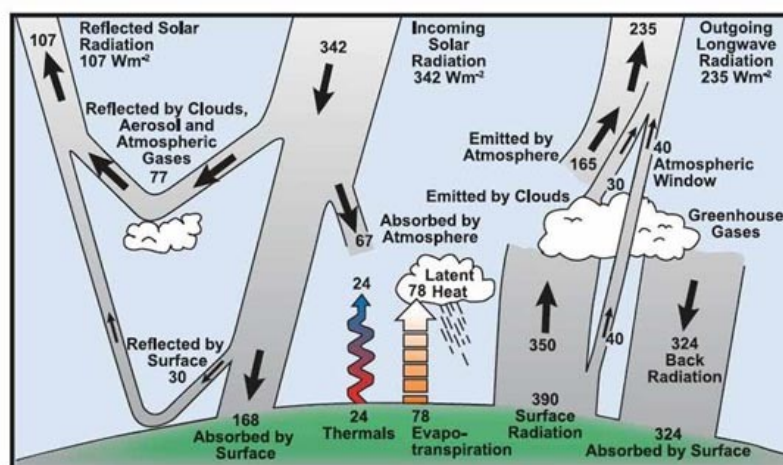


Figura 1: Balance radiativo medio del sistema Tierra-Atmósfera. Muestra la radiación de onda corta a la izquierda y la radiación de onda larga saliente a la derecha. [Kiehl and Trenberth (1997); IPCC]

2. RED RADIOMÉTRICA NACIONAL EN BANDA ANCHA DE AEMET

La Red Radiométrica Nacional (RRN) depende del Centro Radiométrico Nacional (CRN) que a su vez está adscrito a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). La Red Radiométrica Nacional consta actualmente de 51 estaciones radiométricas. En la *Figura 2* se muestran las estaciones radiométricas que constituyen la Red Radiométrica Nacional indicándose las variables de medida que se obtienen en cada una de ellas. Para este trabajo se han seleccionado 40 estaciones radiométricas (Ver Tabla 1), con datos mensuales de radiación global y difusa durante el año 2006 para llevar a cabo un estudio comparativo de estas medidas con las obtenidas por el radiómetro SEVIRI del satélite Meteosat Segunda Generación y AVHRR de los satélites de la NOAA.

En las estaciones radiométricas principales de la RRN se llevan a cabo las medidas de las siguientes variables: Radiación global, difusa y directa, radiación infrarroja y ultravioleta B (UVB). Los sensores de radiación directa, global, difusa e infrarroja están montados sobre un seguidor solar automático como se muestra en la *Figura 3*, que consta de unidades de sombreado, consistentes en bolas sujetas con varillas que proyectan su sombras sobre un piranómetro para la obtención de la radiación difusa. Dichos sensores son los piranómetros de medida de radiación global y difusa, el pirgeómetro para la medida de la radiación infrarroja y el pirheliómetro de radiación directa.

Estos equipos están conectados a un Datalogger que almacena los datos cada minuto que a su vez son transmitidos en tiempo real mediante la red interna de AEMET al Centro Radiométrico Nacional.

Hay también estaciones secundarias con medidas de radiación global, difusa y en algunos casos UVB.

RED RADIOMETRICA



Figura 2: Red Radiométrica Nacional de AEMET

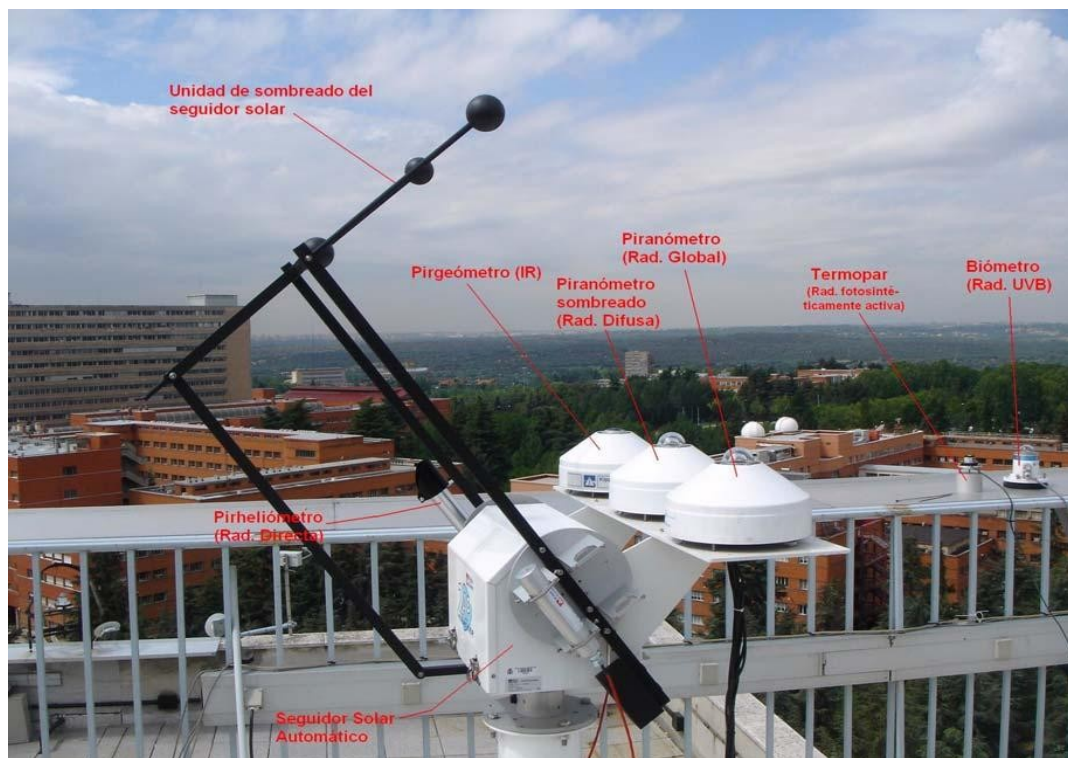


Figura 3: Instrumentos y sensores de una Estación Radiométrica Completa

Tabla1: Estaciones Radiométricas de AEMET utilizadas

INDICATIVO	NOMBRE	LONGITUD [ggmmss]	LATITUD [ggmmss]
B278	PALMA (AP. SON SAN JUAN)	24438	393400
B954	SAN JOSE (AP DE IBIZA)	12212	385241
0201D	BARCELONA (CMT)	21205	412327
0016A	AP. REUS	11044	410859
1428	SANTIAGO	-82537	425358
367	AP. DE GIRONA	24537	415405
1479I	CORÓN	-84813	423452
1014	AP. DE FUENTERRABIA	-14725	432124
1024E	SAN SEBASTIAN	-20222	431827
1082	AP. DE BILBAO	-25421	431753
1111	SANTANDER (CMT)	-34759	432930
1249I	OVIEDO	-55224	432113
1387	A CORUÑA	-82510	432202
2030	SORIA	-22800	414600
2422	VALLADOLID	-44600	413900
2867	SALAMANCA	-52946	405644
3194U	MADRID C.UNIVERSITARIA	-34327	402710
3469A	CACERES	-62022	392820
4121	CIUDAD REAL	-35511	385922
4478G	BADAJOS	-70042	385310
1495	VIGO	-83755	421325
5530E	AP. DE GRANADA	-34635	371124
5960	AP. DE JEREZ DE LA FRONTERA	-60348	364445
5973	CADIZ	-61537	362955
4642E	HUELVA	-65435	371648
6156	MALAGA (C. METEOROLÓGICO)	-42849	364309
6325O	AP. DE ALMERIA	-22317	365035
7178I	MURCIA	-11010	380010
7031	S. JAVIER	-4808	374712
8019	AP. DE ALICANTE	-3320	381709
8414A	AP. DE VALENCIA	-2816	392922
9091O	AP. DE VITORIA	-24322	425302

9170	LOGROÑO	-21951	422706
9771C	LLEIDA	35421	413733
2661	LEON	-53858	423520
3260B	TOLEDO	-40258	395305
8178D	ALBACETE	-15139	390025
9263D	PAMPLONA	-13821	424606
9433	ZARAGOZA	-10418	414044
9981A	TORTOSA	29291	404914

Tabla 1

La radiación global se define como la radiación solar recibida de un ángulo sólido de 2π estereorradianes sobre una superficie horizontal. La radiación global incluye la recibida directamente del disco solar y la radiación difusa dispersada por la atmósfera.

Las estaciones radiométricas están equipadas para las medidas de radiación global y difusa con piranómetros Kipp-Zonen mod.CM-21 (ver Figura 4), con un rango espectral de 335-2200 nm y con una incertidumbre de $\pm 2\%$.



Figura 4: Piranómetro Kipp-Zonen mod.CM-21 para la medida de la radiación global

2. SATELLITE APPLICATION FACILITY ON CLIMATE MONITORING (CM-SAF)

En Noviembre de 1992, EUMETSAT creo la red de centros especializados SAF (Satellite Application Facilities), con el fin de obtener un mejor aprovechamiento de los datos procedentes de los satélites meteorológicos, mediante el desarrollo de algoritmos y software para la obtención de productos meteorológicos derivados que complementen los producidos y distribuidos por la central de EUMETSAT en Darmstad. Cada uno de los centros SAF está especializado en un tipo de productos y liderado por un Servicio Meteorológico Nacional. Actualmente existen 7 proyectos SAF aprobados y en operación:

- SAF para el apoyo al Nowcasting y la Predicción a muy corto plazo
- SAF para los Océanos y los Hielos Marinos
- SAF para el Control del Clima
- SAF para la Predicción Numérica del Tiempo

- SAF para el Análisis Superficial de Tierra
- SAF para el Ozono y Control de la Química Atmosférica
- SAF para la Meteorología GRAS.

En este trabajo se han utilizado datos del SAF on Climate Monitoring (CM-SAF), liderado por el Servicio Meteorológico Alemán (Deutscher Wetterdienst; DWD).

El estudio del clima terrestre obliga a la obtención de una base de datos climatológica a escala global. Solo las observaciones obtenidas desde satélites meteorológicos pueden proporcionar este tipo de cobertura global. En particular los satélites pueden proporcionar los únicos datos disponibles sobre los océanos y zonas inhabitadas debido al escaso número de estaciones meteorológicas en superficie. Las series de datos procedentes de satélites existentes en la actualidad empiezan a tener una longitud adecuada para su utilización en análisis climáticos.

El CM-SAF fué creado con el fin de generar y archivar de forma continua una serie de datos climatológicos con el fin de caracterizar el estado del clima y su variabilidad y analizar y diagnosticar parámetros climáticos para identificar y entender cambios en el sistema climático. Por otro lado, se creó con el propósito de proporcionar datos de entrada para modelos climáticos con el fin de estudiar distintos procesos del sistema climático a escala europea y global y para la predicción climática.

Para este trabajo se han utilizado datos del parámetro SIS (Surface Incoming Shortwave Radiation) del SAF-Climate, Mueller et al. (2009). El SIS es el flujo de radiación de onda corta que incide en la superficie horizontal en la banda $0.2\text{--}4\text{ }\mu\text{m}$, expresado en W/m^2 . Se han utilizado valores de SIS promediados mensualmente para el año 2006 con una resolución espacial de 15 km.

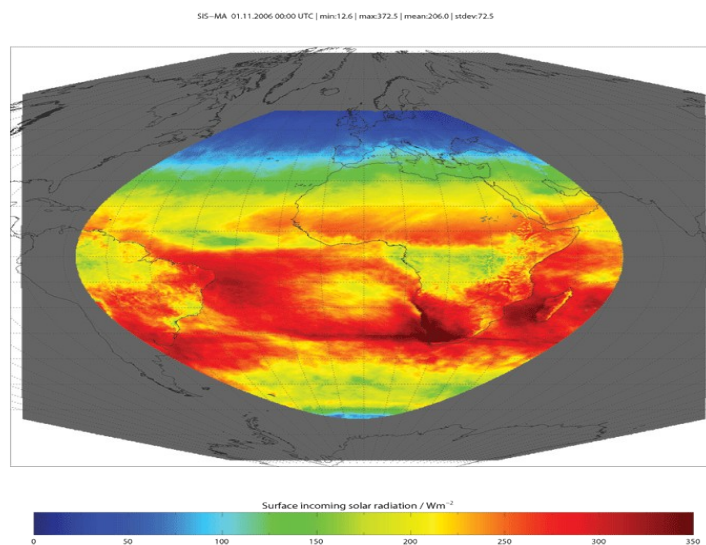


Figura 5: Ejemplo de producto SIS (Surface Incoming Shortwave Radiation) del SAF de Clima.

En la *Figura 5* se muestra un ejemplo de valores medios mensuales de SIS (Surface Incoming Shortwave Radiation).

Para el cálculo del SIS se ha utilizado el algoritmo similar al desarrollado por Pinker et. al. (1992). La idea básica del algoritmo es que existe una relación en la banda $0.2-4.0 \mu\text{m}$ entre la reflectividad (R) en el tope de la atmósfera, que se puede obtener directamente de las medidas registradas por los satélites, y la transmisibilidad atmosférica (T) o ratio entre la irradiancia en la superficie y la correspondiente en el tope de la atmósfera. Una vez conocida esta relación, es posible calcular T y la irradiancia en superficie, es decir el SIS.

Por tanto, existen relaciones del tipo:

$$T = f_i(R) \quad (1)$$

donde R es la reflectividad en el tope de la atmósfera, T es la transmisibilidad atmosférica e $i=1, \dots, N$ representa a cada uno de las diferentes condiciones superficie-atmósfera caracterizados por los siguientes parámetros: albedo superficial, cantidad de gases absorbentes en la atmósfera (ozono, vapor de agua) y partículas difusoras (moléculas, aerosoles, gotas nubosas). Estas relaciones entre T y R se calculan previamente mediante un modelo de transferencia radiativa y se obtienen previamente unas tablas que se utilizan posteriormente para el cálculo de T en función de R para cada una de las condiciones de observación.

A continuación se obtiene R a partir de las medidas de albedo en el tope de la atmósfera obtenida por los radiómetros de los satélites.

Finalmente se utiliza la relación $T = f_s(R)$ para las condiciones atmósfera-superficie s que prevalecen en el momento de la medida para obtener T y con este valor la estimación de la irradiancia en superficie (SIS):

$$SIS = E_0 \cos(\Theta) T \quad (2)$$

donde E_0 es el flujo de radiación entrante en el tope de la atmósfera (Constante Solar), Θ es el ángulo zenital y T la transmisibilidad atmosférica..

Para el cálculo de las tablas correspondientes al efecto de las nubes se utilizó el modelo de transferencia radiativa libRadtran (Mayer and Kylling, 2005). Este modelo utiliza 24 bandas espectrales y diferentes estados atmosféricos caracterizados por distintas concentraciones de ozono, vapor de agua, espesor óptico de aerosoles y albedo superficial. Cabe destacar que, por el momento, solo se han tenido en cuenta nubes acuosas a altitudes fijas y con distintos espesores, pero no se incluyeron en los cálculos las nubes con partículas de hielo. Esto debe tenerse en cuenta al analizar las posibles fuentes de error en la estimación del SIS.

3. COMPARACIÓN DE MEDIDAS DE LAS ESTACIONES RADIOMÉTRICAS CON LAS MEDIDAS SIS DEL CM-SAF.

Con el fin de evaluar la exactitud del algoritmo de obtención del SIS del SAF-CM y la conveniencia del uso de estos datos como complemento a los procedentes de la Red Radiométrica Nacional, se ha realizado una comparación de los promedios mensuales diarios del SIS con las medidas correspondientes de radiación global para todas las estaciones indicadas en la Tabla 1 para todo el año 2006.

En las *Figuras 6 y 7* se muestran los valores del SIS en la primera columna, los valores de radiación global medidos en las estaciones radiométricas en la segunda columna y la diferencia porcentual entre las medidas y los valores de SIS, así como las localizaciones de las estaciones radiométricas utilizadas en la tercera columna.

Se observa, en general, una muy buena concordancia entre los valores procedentes de ambas fuentes de información, con gran similitud en los gradientes latitudinales de radiación global observados, e incluso reproduciéndose parecidas estructuras en el contorno de las medidas. Los campos de las diferencias porcentuales muestran un color verde predominante indicando valores muy bajos. Incluso en los meses de máxima insolación (mayo, junio y julio) en los que además existen mayores gradientes latitudinales de radiación, se observa un buen acuerdo entre los datos y se reproducen similares estructuras.

Quizá la única excepción sea el mes de octubre, en el que hay una diferencia apreciable entre las medidas en la zona centro peninsular. Estas discrepancias podrían ser debidas al hecho de que el algoritmo utilizado para el cálculo del SIS no tiene en cuenta, por el momento, las nubes de hielo.

Con el fin de estudiar la evolución a lo largo del año de los valores promedios mensuales diarios de SIS junto con los valores de radiación global observados en algunas estaciones radiométricas, se han representado en las *Figuras 8-11* los valores de radiación global medios para cada mes del año. Las medidas de SIS son cantidades interpoladas para la localización geográfica de cada estación radiométrica.

Es de destacar igualmente la gran similitud de los datos de ambas fuentes de información, incluso durante los meses de máxima variación de la radiación global. Es decir, en los meses próximos a los equinoccios, de marzo a mayo y de septiembre a noviembre. Ambas fuentes de datos muestran una mayor pendiente en la disminución de la radiación global durante los meses de otoño que la correspondiente al aumento de la radiación durante los meses de primavera.

No se observa una diferencia sistemática entre las dos fuentes de datos a lo largo del año 2006 salvo en el mes de octubre, en el que parece apreciarse una subestimación de los datos de SIS respecto a las medidas realizadas por las estaciones radiométricas. Esta subestimación se hace importante en el centro peninsular como se indicó anteriormente.

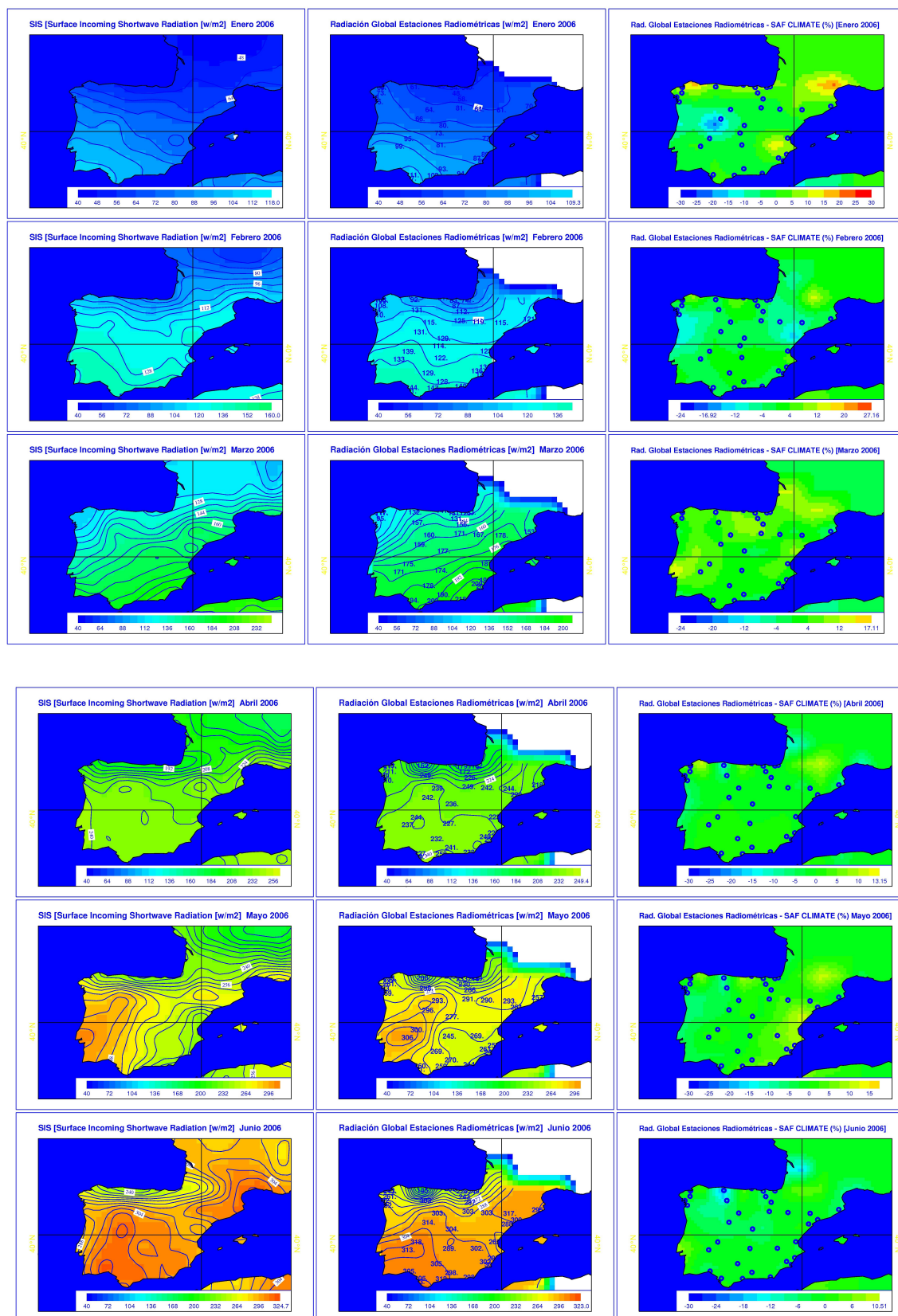


Figura 6: Comparación de promedios mensuales diarios de valores de SIS con las medidas de radiación global de la Red Radiométrica Nacional para los primeros 6 meses de 2006. Primera columna: valores de SIS; Segunda columna: Medidas de la Red Radiométrica; Tercera columna: Diferencia porcentual

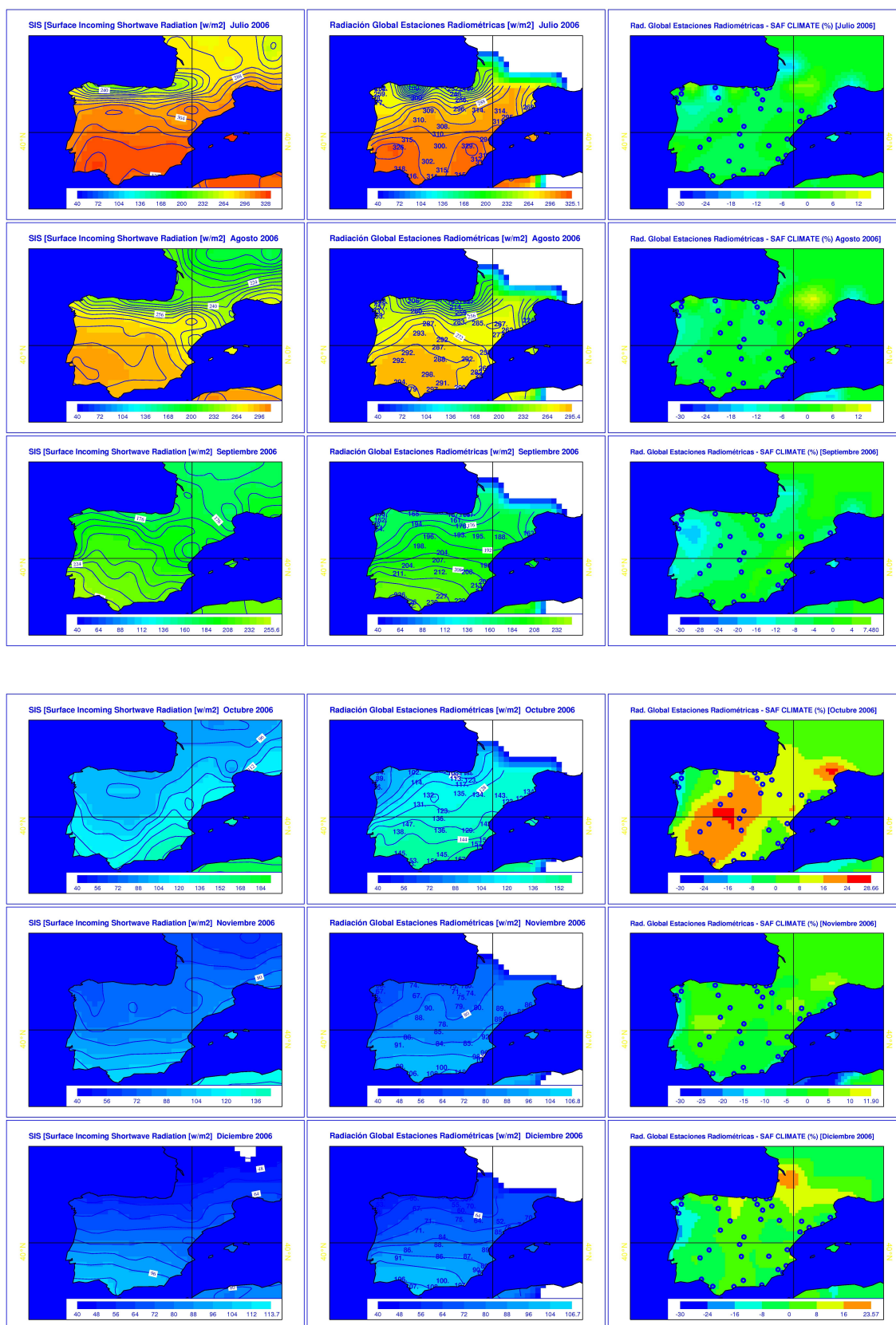


Figura 7: Comparación de promedios mensuales diarios de valores de SIS con las medidas de radiación global de la Red Radiométrica Nacional para la segunda mitad de 2006.

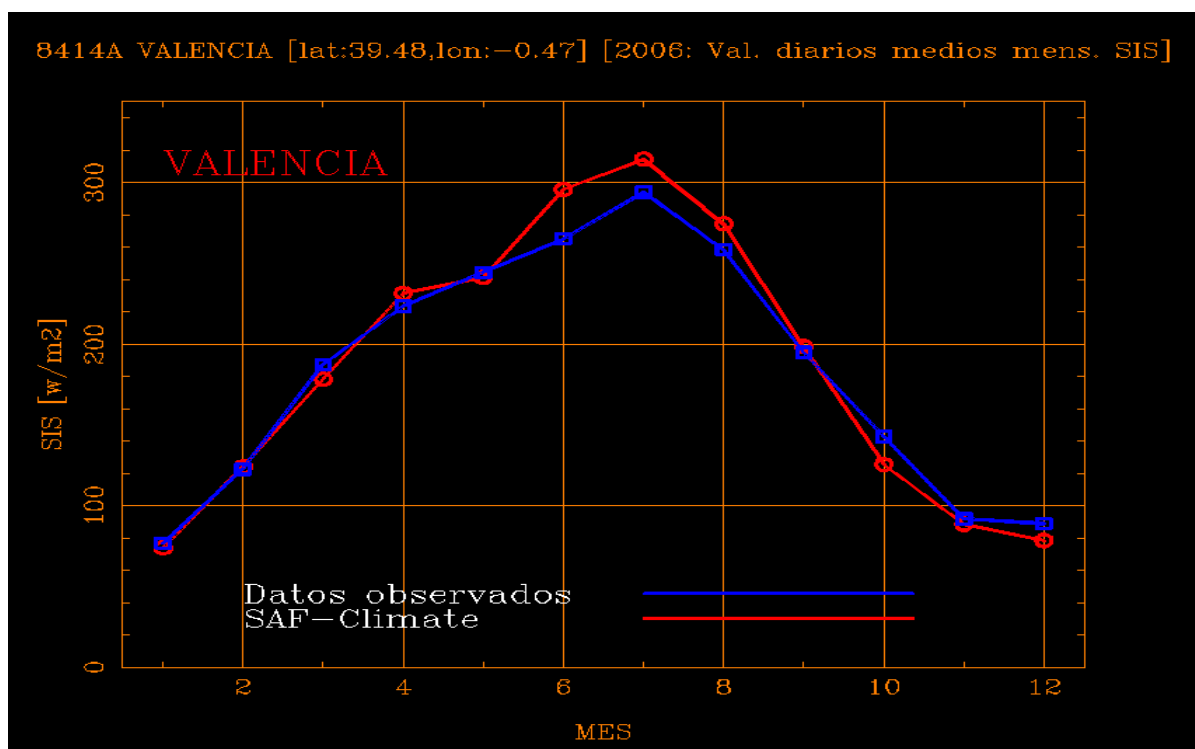
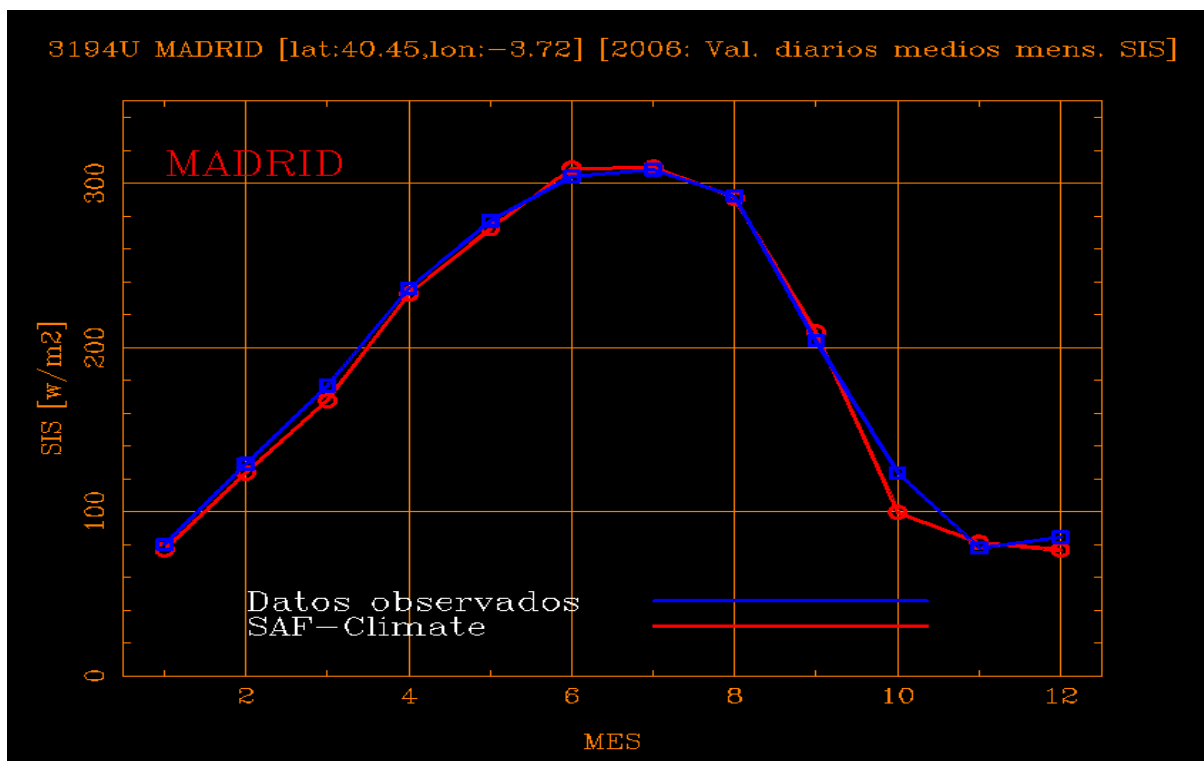


Figura 8: Evolución de los valores promedios mensuales diarios de SIS (línea roja) junto con los valores de radiación global (línea azul) para las estaciones radiométricas de Madrid y Valencia

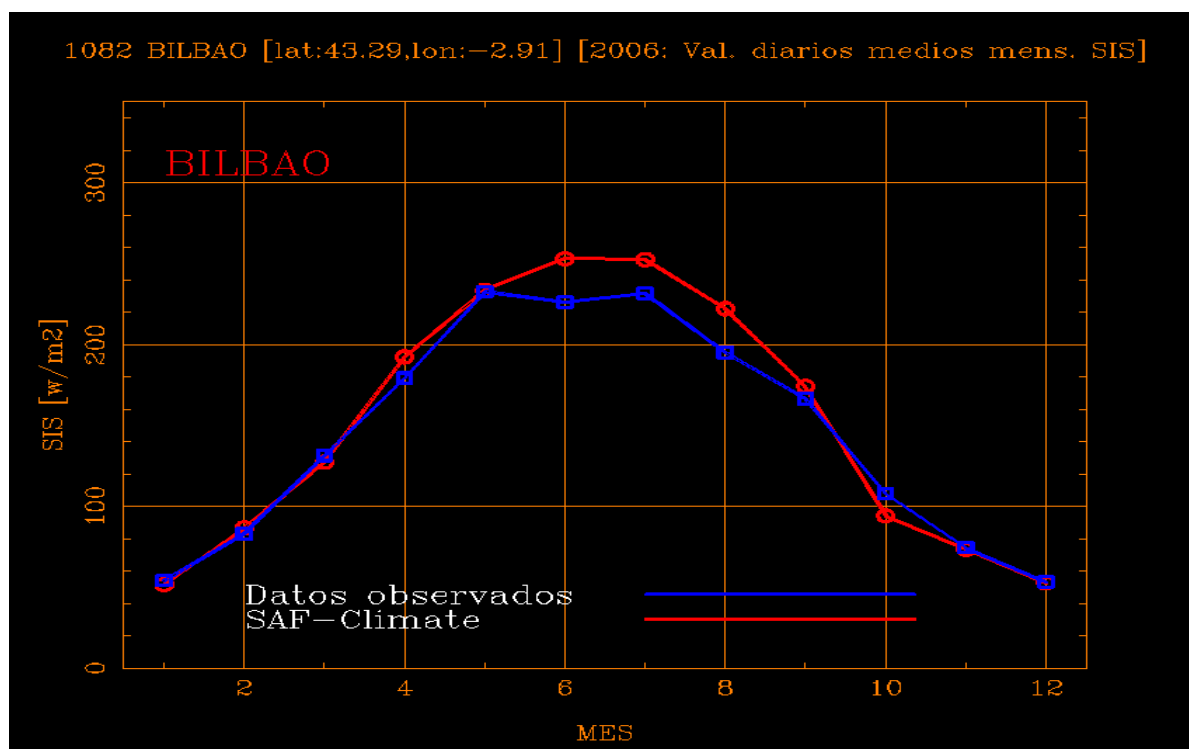
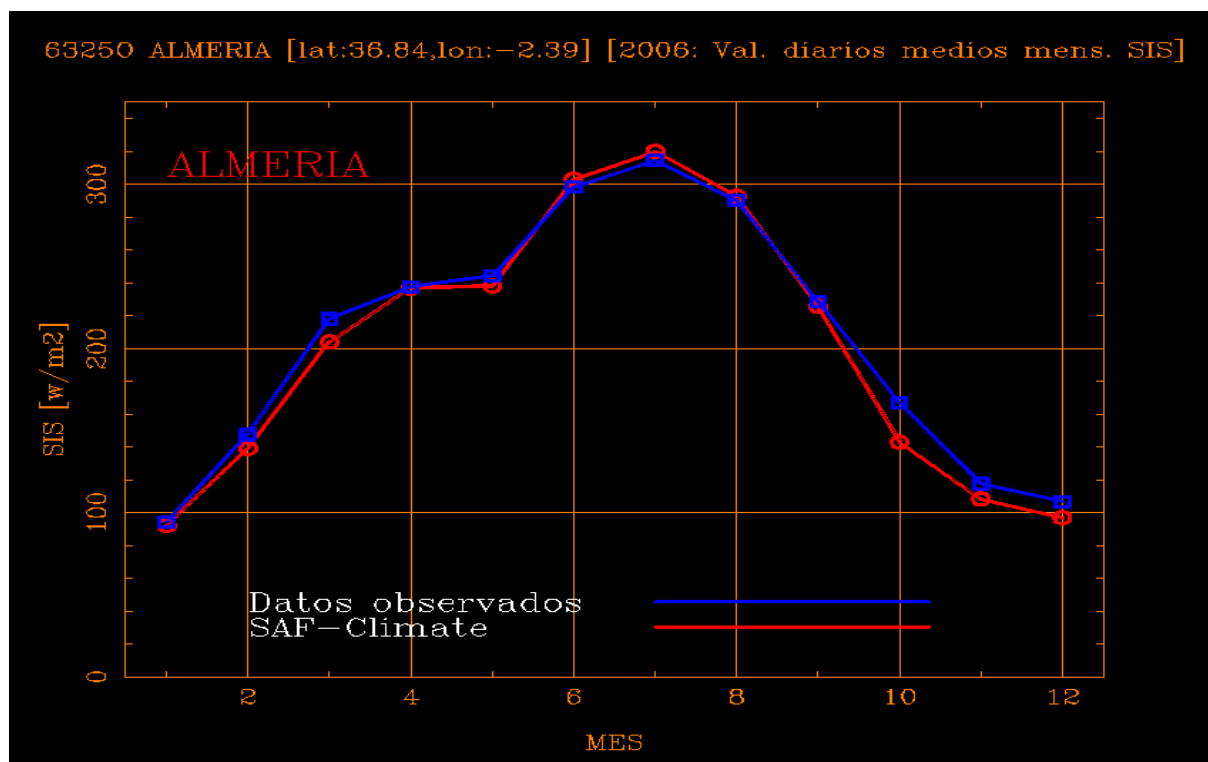


Figura 9: Evolución de los valores promedios mensuales diarios de SIS (línea roja) junto con los valores de radiación global (línea azul) para las estaciones radiométricas de Almería y Bilbao

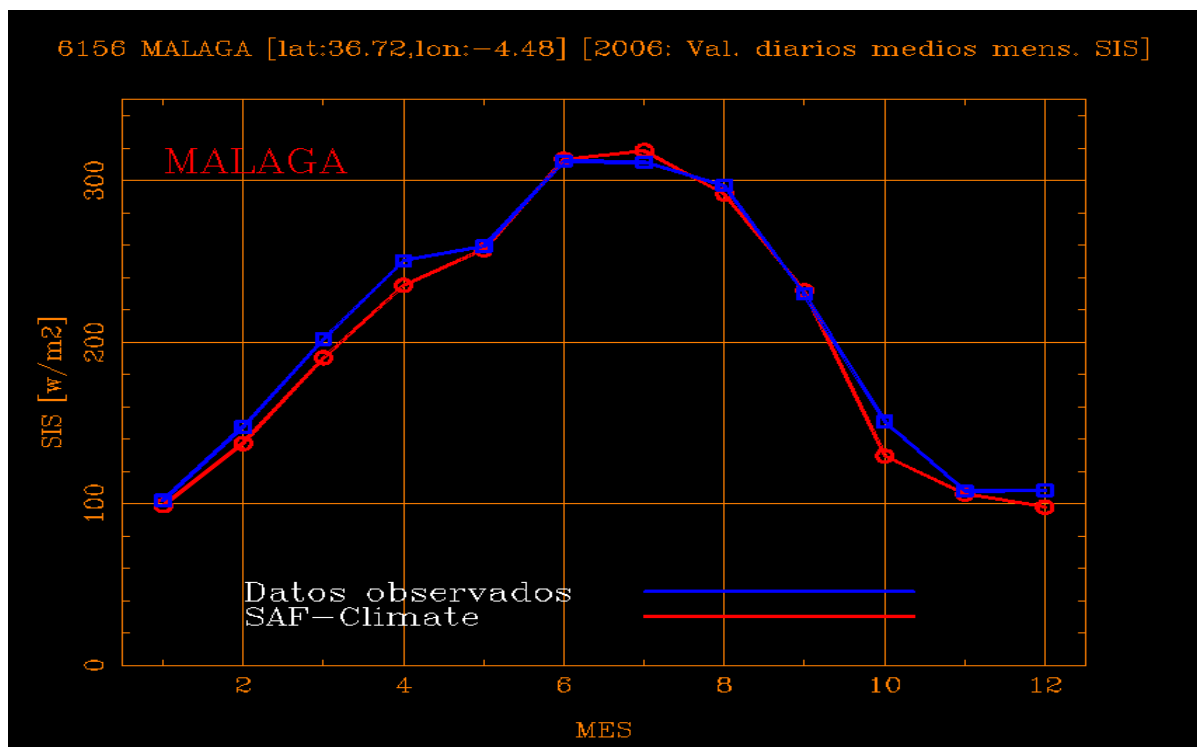
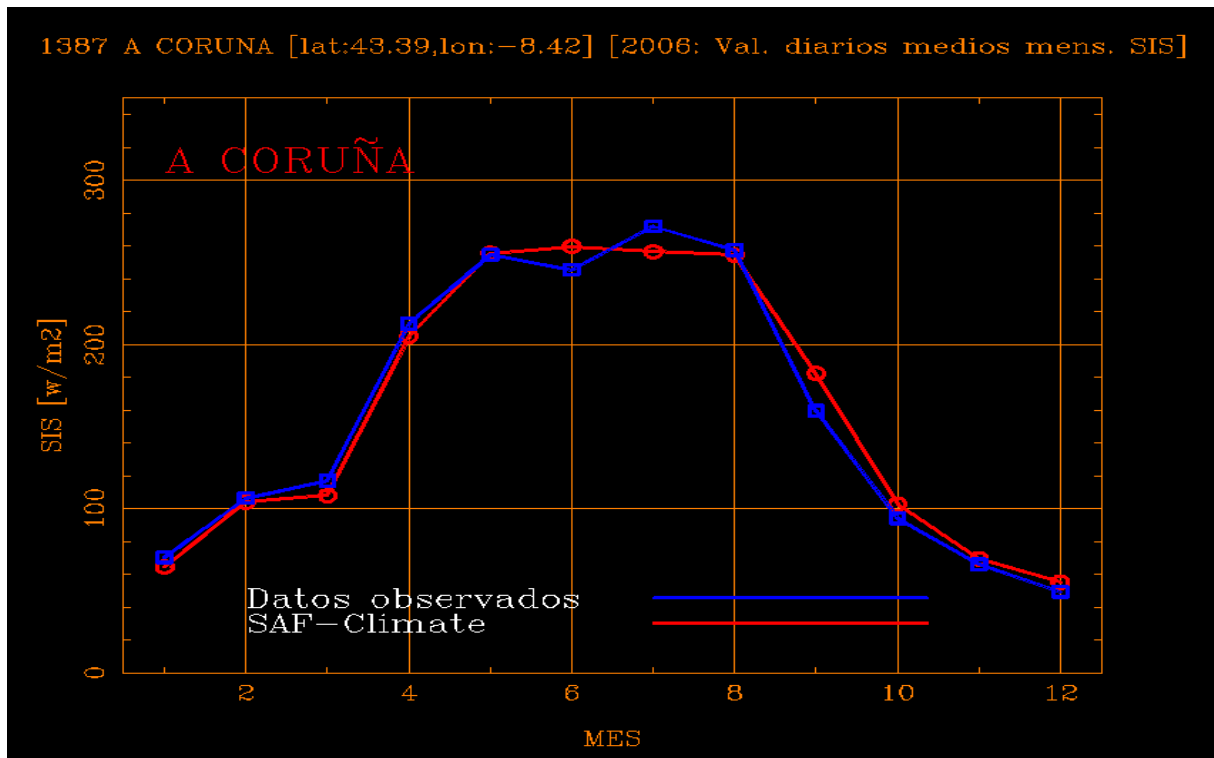


Figura 10: Evolución de los valores promedios mensuales diarios de SIS (línea roja) junto con los valores de radiación global (línea azul) para las estaciones radiométricas de A Coruña y Málaga

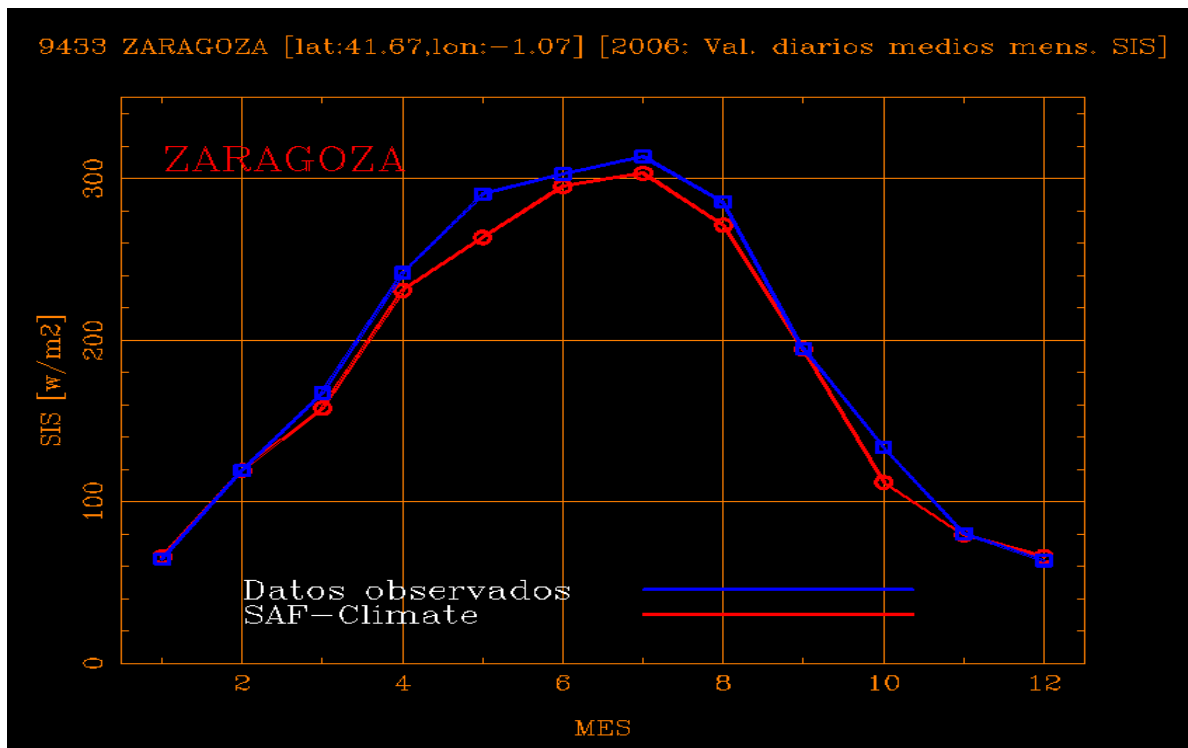


Figura 11: Evolución de los valores promedios mensuales diarios de SIS (línea roja) junto con los valores de radiación global (línea azul) para la estación radiométrica de Zaragoza

4. OBTENCIÓN DE ESTIMACIONES DE RADIACIÓN DIRECTA A PARTIR DE MEDIDAS DE RADIACIÓN GLOBAL.

Las valores de SIS son estimaciones de radiación global incidente en la superficie terrestre. Si estamos interesados en la obtención de medidas de radiación directa a partir de los valores de SIS, es posible estimar la radiación difusa mediante la aproximación polinomial de tercer grado propuesta por Czeplak (1996) que relaciona los promedios mensuales de radiación difusa con los promedios mensuales de radiación global.

Para ello, se han utilizado varias estaciones radiométricas completas con medidas de radiación global, directa y difusa para intentar estimar unos coeficientes que posteriormente puedan servir para calcular la radiación difusa a partir de los valores de SIS.

Según el modelo polinomial propuesto por Czeplak (1996), la relación entre el promedio mensual de la radiación difusa diaria ($(D_d)_m$) y el promedio mensual de la radiación global diaria ($(G_d)_m$) viene dada por:

$$\frac{(D_d)_m}{(G_d)_m} = c_0 + c_1(KT_d)_m + c_2((KT_d)_m)^2 + c_3((KT_d)_m)^3 \quad (3)$$

donde $(KT_d)_m$ es el promedio mensual del índice de claridad diario:

$$(KT_d)_m = \frac{(G_d)_m}{(G_{od})_m} \quad (4)$$

donde $(G_{od})_m$ es el promedio mensual de la radiación global diaria extraterrestre, es decir la radiación incidente en un plano horizontal en el tope de la atmósfera, que puede ser calculado a partir de la latitud y del día Juliano.

Si $(KT_d)_m$ es menor que 0.2, prácticamente toda la radiación incidente es radiación difusa y no hay radiación directa. Los valores típicos del índice de claridad oscilan entre 0.4 y 0.6.

Los coeficientes c_0 , c_1 , c_2 y c_3 son calculados para diferentes bandas latitudinales y para las 4 estaciones del año. Para la elaboración del Atlas Europeo de Radiación Solar, ESRA (European Solar Radiation Atlas), Aguiar et. al. (2000), se seleccionaron estaciones radiométricas en 3 bandas latitudinales comprendidas entre 48°N y 61°N considerando las 4 estaciones como:

Invierno: Noviembre-Febrero; Primavera: Marzo-Abril; Verano: Mayo-Agosto y Otoño: Septiembre-Octubre.

Para el intervalo de latitudes comprendidas entre 48°N y 52°N los coeficientes calculados por los autores se resumen en la siguiente tabla:

Coeficientes calculados por Aguiar(2000) para el ESRA [48°N < φ < 52°N]				
Estación	c_0	c_1	c_2	c_3
<i>Invierno</i>	1,032	-0,694	-1,771	1,562
<i>Primavera</i>	1,049	-0,822	-1,250	1,124
<i>Verano</i>	0,998	-0,583	-1,392	0,995
<i>Otoño</i>	1,019	-0,874	-0,964	0,909

Tabla 2

Los coeficientes mostrados en la *Tabla 2* fueron calculados para bandas latitudinales muy al norte de las latitudes de propias de la península ibérica ($\varphi < 44^\circ$), por lo que su uso para la estimación de la radiación difusa no parece apropiado para nuestra región. Por lo tanto, se hace necesario recalcular estos coeficientes para particularizarlos a la península ibérica.

En este trabajo se han realizado ajustes polinomiales de tercer grado con los datos de radiación global y difusa de varias estaciones de la Red Radiométrica Nacional de AEMET, con el fin de obtener unos coeficientes más adecuados para la Península Ibérica que mejoren el ajuste que se obtiene utilizando los coeficientes del Atlas Europeo de Radiación Solar.

En la *Figura 12* se muestra, a modo de ejemplo, los nuevos ajustes polinomiales obtenidos para la estación radiométrica de Madrid con datos a partir del año 2000, observándose que la relación entre la radiación difusa y la radiación global presenta un mejor ajuste para todas las estaciones del año (línea roja) en comparación con las estimaciones obtenidas utilizando los coeficientes del ESRA de la tabla mostrada (línea verde).

La parte inferior de las gráficas muestra el error obtenido al calcular la radiación difusa a partir de la radiación global utilizando la relación polinomial de tercer grado con respecto a los valores de las medidas reales de radiación difusa obtenida en las estación radiométrica de Madrid. Se puede observar que el error es en casi todos los casos inferior al 20% y se aprecia, asimismo, una notable mejora en el ajuste de los valores de la relación de la radiación difusa y global en función del índice de claridad al utilizar los nuevos coeficientes (puntos rojos) con respecto al uso de los coeficientes del ESRA (puntos verdes).

En un siguiente paso, se obtendrán unos valores promediados de los coeficientes a partir de los ajustes de distintas estaciones radiométricas para poder ser utilizados para el cálculo de la radiación directa a partir de los campos de SIS del SAF de Clima.

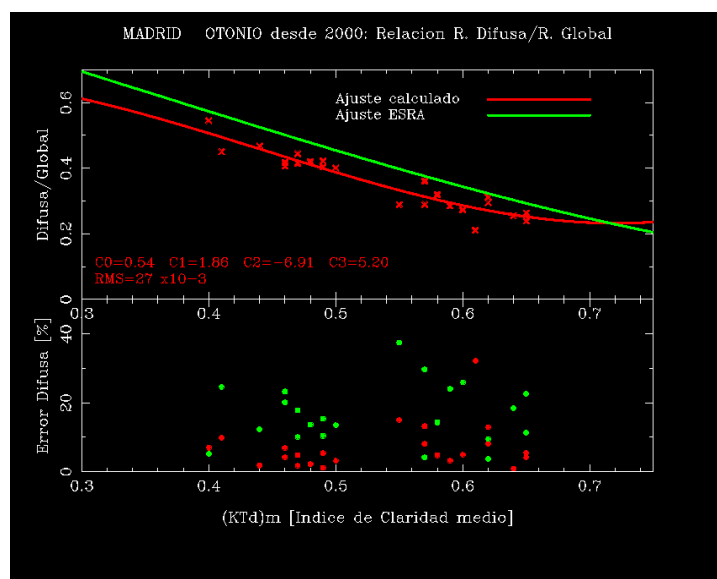
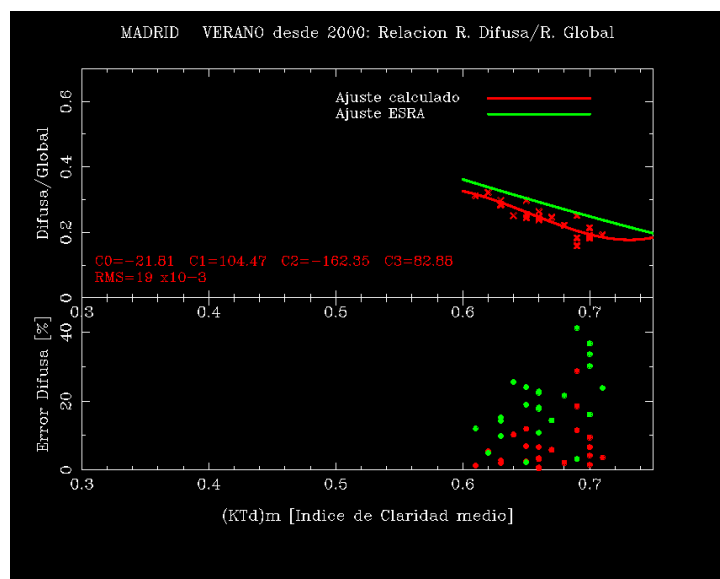
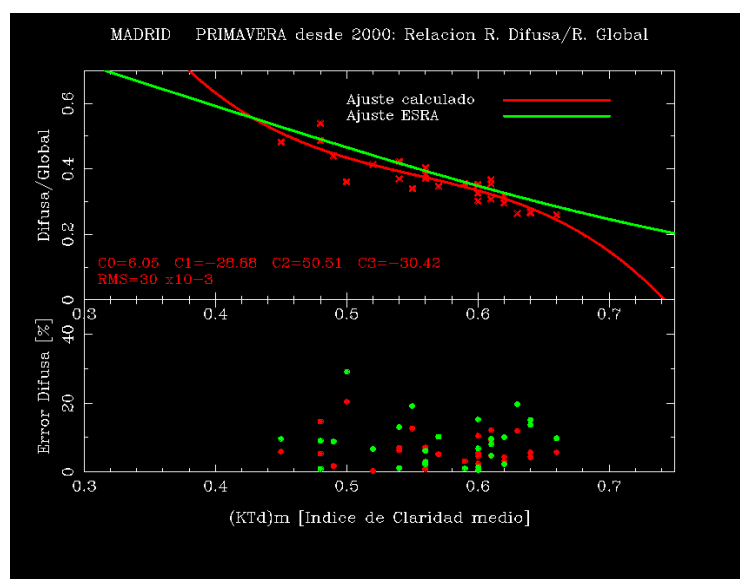
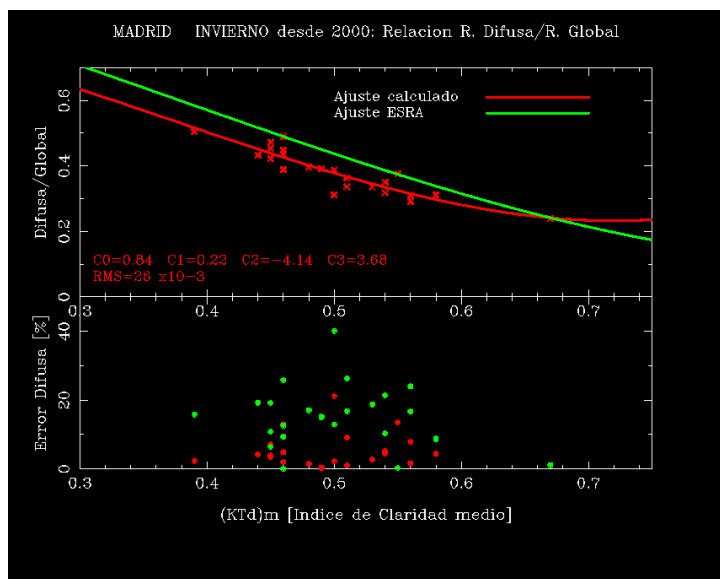


Figura12: Nuevos ajustes polinomiales obtenidos para la estación radiométrica de Madrid con datos a partir del año 2000. Se observa que la relación entre la radiación difusa y la radiación global presenta un mejor ajuste para todas las estaciones del año (línea roja) en comparación con las estimaciones obtenidas utilizando los coeficientes del ESRA de la Tabla 2 (línea verde).

CONCLUSIONES:

Se han analizado los datos procedentes del CM-SAF de SIS (Surface Incoming Shortwave radiation) obtenidos a partir de las medidas del instrumento SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) del satélite Meteosat Segunda Generación y del AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) de los satélites polares de la NOAA y se han comparado con los valores promedios mensuales de Radiación Global diaria medidos en 31 estaciones de la Red Radiométrica Nacional en banda ancha de AEMET. Los resultados muestran una gran similitud de los datos procedentes de ambas fuentes de información, siendo las discrepancias entre ambas fuentes de información en torno a $\pm 5\%$. Con el fin de realizar estimaciones de la radiación directa a partir de las medidas de radiación de SIS se han recalculado los coeficientes del modelo polinomial propuesto por Czeplak (1996) utilizando los datos de radiación global y difusa de varias estaciones de la Red Radiométrica Nacional, obteniéndose una mejora sustancial del ajuste con respecto al obtenido con los coeficientes del ESRA (European Solar Radiation Atlas). Se estima que el error es menor del 20%, al calcular con estos nuevos coeficientes la radiación difusa a partir de la radiación global utilizando la relación polinomial de tercer grado con respecto a los valores de las medidas reales de radiación difusa obtenida en las estaciones radiométricas.

Reconocimientos:

Para la realización de este trabajo se han utilizado datos del producto SIS del SAF on Climate Monitoring (CM-SAF), liderado por el Servicio Meteorológico Alemán (Deutscher Wetterdienst; DWD)

Referencias:

Aguilar, R. et. al. (2000): The European Solar Radiation Atlas: Vols. I and II. École des Mines de Paris.

Czeplak, G. (1996): Modified polynomial Erbs. Coefficients for calculating monthly mean diffuse solar radiation. European Solar Radiation Atlas Project. Contract JOU2-CT93-305. DWD Report.

Kiehl, J., and K. Trenberth, 1997: Earth's annual global mean energy budget. Bull. Am. Meteorol. Soc., 78, 197–206.

Mayer, B and Kylling, A., 2005, Technical note: The libRadtran software package for radiative transfer calculations – description and examples of use. Atmos. Chem. Phys., 5, 1855-1877.

Pinker, R.T. and Laszlo, I. (1992): Modeling Surface Solar Irradiance for Satellite Applications on a Global Scale, J. Appl. Meteorology, 31, 194-211

R.W. Mueller, C. Matsoukas, A. Gratzki, H.-D. Behr, R. Hollmann (2009): "The CM-SAF operational scheme for the satellite based retrieval of solar surface irradiance - a LUT based eigenvector hybrid approach", Remote Sensing of Environment, Volume 113, Issue 5, pp 1012-102